

MULTILAYER OPTICAL INTERFERENCE FILTER WITH WIDEBAND SPECTRAL TRANSMISSION REGION AND REDUCED RIPPLE

Patent Number: ☐ US3697153
Publication date: 1972-10-10
Inventor(s): ZYCHA HARALD
Applicant(s): BALZERS PATENT BETEILIG AG
Requested Patent: ☐ DE2050650
Application Number: USD3697153 19701216
Priority Number(s): CH19690018884 19691217
IPC Classification: G02B5/28
EC Classification: G02B5/28A1
Equivalents: ☐ CH502603, ☐ FR2070892, ☐ GB1311127, ☐ NL7002011

Abstract

A multiple layer optical interference filter having a wideband spectral transmission region with reduced ripple structure is designed to reflect radiation of longer wavelengths. It comprises a carrier having an alternate system of layers of alternately high and low refractivity. Each of the layers are of an optical thickness which satisfies the relation $n_i d_i \cos \alpha_i = \lambda_0 / 4$ (WHERE n_i DENOTES THE INDEX OF REFRACTION OF THE LAYER SUBSTANCE, d_i THE THICKNESS OF THE LAYER, λ_0 THE WAVELENGTH OF THE REFLECTION REGION ADJACENT THE LONG WAVE SIDE TO THE TRANSMISSION REGION OF INTEREST, AND α_i THE ANGLE WHICH IS FORMED BY THE LIGHT RAY PASSING THROUGH THE FILTER AND THEN NORMAL TO THE LAYER PLANE OF THE LAYER IN QUESTION). The system of layers comprises a light transparent equalizing layer adjacent to the outer one of said low reflectivity layers having a refractive index and having a thickness d such that undesired secondary maxima of reflection are reduced. The thickness of the equalizing layer is equal to $d = 3 \lambda_0 / 8.1/n \cos \alpha$. In this formula, λ_0 denotes the mean wavelength of the transmission region of interest to be smoothed. The letter α represents the angle which the light ray in the equalizing layer forms with the wavelength of the transmission region of interest to be smoothed. The index of refraction of the equalizing layer (n) is larger than the index of refraction of the low refractivity outer layer adjacent to the equalizing layer.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

⑤1

Int. Cl.:

G 02 b, 5/28

76

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



⑤2

Deutsche Kl.: 42 h, 34/08

⑩

Offenlegungsschrift 2050 650

⑪

⑫

Aktenzeichen: P 20 50 650.7

⑬

Anmeldetag: 15. Oktober 1970

⑭

Offenlegungstag: 24. Juni 1971

Ausstellungspriorität: —

⑮

Unionspriorität

⑯

Datum: 17. Dezember 1969

⑰

Land: Schweiz

⑱

Aktenzeichen: 018884-69

⑳

Bezeichnung: Vielschichtinterferenzlichtfilter mit einem breitbandigen spektralen Transmissionsbereich mit verminderter Bandenstruktur

㉑

Zusatz zu: —

㉒

Ausscheidung aus: —

㉓

Anmelder: Balzers Hochvakuum GmbH, 6000 Frankfurt

Vertreter: —

㉔

Als Erfinder benannt: Zycha, Harald, Dr., Triesen (Liechtenstein)

Benachrichtigung gemäß Art. 7 § 1 Abs. 2 Nr. 1 d. Ges. v. 4. 9. 1967 (BGBl. I S. 960): —

DT 2050650

Vielschichtinterferenzlichtfilter mit einem breitbandigen spektralen Transmissionsbereich mit vermindelter Bandenstruktur

Es sind Interferenzlichtfilter bekannt, welche auf einem lichtdurchlässigen Träger ein System dünner, lichtdurchlässiger Schichten von abwechselnd hohem und niedrigerem Brechungsindex aufweisen, wobei die gleichbrechenden Schichten unter sich die gleiche optische Dicke besitzen; unter optischer Dicke wird hier und im folgenden das Produkt aus Schichtdicke und Brechungsindex des Schichtmaterials verstanden. Ein solches System wird im folgenden als alternierendes Schichtsystem bezeichnet.

Als hochbrechende Schichten kommen z.B. TiO_2 ($n = 2,4$), ZnS ($n = 2,3$) und andere Materialien in Frage, für die niederbrechenden Schichten werden häufig MgF_2 ($n = 1,38$), SiO_2 ($n = 1,47$) usw. verwendet. Solche Filter können verschiedene Anwendungen finden, vor allem werden sie als sogenannte Band- und Kantenfilter benutzt, welche Licht bestimmter Wellenlängenbereiche hindurchtreten lassen und den Rest reflektieren oder absorbieren. Für Bandfilter

BAD ORIGINAL

109826/0905

und Kantenfilter ist die Forderung gestellt, dass das Transmissionsvermögen in einem grösseren vorgewählten interessierenden Bereich des Spektrums einen möglichst gleichbleibenden hohen Wert aufweist, die graphisch dargestellte Transmissionskurve in diesem Bereich also einen möglichst glatten Verlauf zeigt. Diese Forderung lässt sich nicht erfüllen, wenn man zum Aufbau des alternierenden Schichtsystems lauter optisch gleich dicke hoch- bzw. niederbrechende Schichten verwenden will (was aus herstellungstechnischen Gründen erwünscht wäre). Man erreicht mit einem solchen System zwar, dass das Transmissionsvermögen für bestimmte Wellenlängen ein Maximum wird, jedoch muss man für benachbarte Wellenlängen mehr oder weniger grosse Abweichungen in Form einer störenden Bandenstruktur in Kauf nehmen. Zur Verminderung dieser unerwünschten Bandenstruktur sind verschiedene Lösungen vorgeschlagen worden. Näheres findet man in:

1. DBP 902 191 (GEFFCKEN)
2. J. Opt. Soc. Amer. 53 (1963) Nov. Nr. 11, p. 1266-70 (THELEN)
3. J. Opt. Soc. Amer. 56 (1966) Nov. Nr. 11, p. 1533-38 (THELEN)
4. Notes for Summer Course in Modern Methods of Optical Design. Vol. 7, Multilayer Filters; Ed.: The Inst. of Optics, University of Rochester (BAUMEISTER), 1963.

Es ist schon ein Interferenzlichtfilter mit verminderter Bandenstruktur für Aufsicht oder Durchsicht vorgeschlagen worden, welches aus einer Vielzahl von nichtmetallischen Schichten besteht, wobei ein als Innensystem bezeichnetes, mit Bandenstruktur behaftetes Interferenzfilter von einem aus zwei Aussengruppen bestehenden Aussensystem optisch symmetrisch eingefasst wird. Bei der Herstellung eines solchen Interferenzlichtfilters muss darauf geachtet werden, dass die für die Reflexionsamplitude des Aussensystems geltende Kurve in dem in Frage kommenden Wellenlängenbereich praktisch den gleichen Verlauf zeigt wie die für die Wurzel aus der messbaren Reflexion des Innensystems geltende Kurve, wobei die Einhaltung dieser Vorschrift mit nicht unerheblichen herstellungstechnischen Schwierigkeiten verbunden ist. Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, demgegenüber eine einfache, mit den Erfordernissen einer rationellen Fertigung verein-

109826/0905

BAD ORIGINAL

bare Lösung des Problems der Glättung der Bandenstruktur eines Interferenzlichtfilters zu finden, insbesondere für den Fall von zwischen Glasplatten eingeschlossenen Filtern.

Das erfindungsgemässe Vielschichtinterferenzlichtfilter mit einem breitbandigen spektralen Transmissionsbereich mit vermindelter Bandenstruktur, welches für Strahlung von grösseren Wellenlängen reflektierend ausgebildet ist und auf einem Träger ein alternierendes System von abwechselnd hoch- und niederbrechenden Schichten aufweist, wobei die Schichten optische Dicken besitzen, welche der Beziehung $n_1 d_1 \cos \alpha_1 = \frac{\lambda_0}{4}$ genügen (wobei n_1 den Brechungsindex der Schichtsubstanz, d_1 die Dicke der Schicht, λ_0 die Wellenlänge des Maximums des an den interessierenden Transmissionsbereich auf der langwelligen Seite angrenzenden Reflexionsbereiches und α_1 den Winkel bedeutet, welchen der durch das Filter hindurchtretende Lichtstrahl mit der Senkrechten zur Schichtebene in der betreffenden Schicht einschliesst), und wobei zusätzlich eine an eine niederbrechend ausgebildete Aussenschicht des alternierenden Systems angrenzende lichtdurchlässige Ausgleichsschicht von solchem Brechwert n und solcher Dicke d vorgesehen ist, dass unerwünschte Nebenmaxima der Reflexion vermindert werden, ist dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der Ausgleichsschicht gleich ist

$$d = \frac{3\lambda}{8} \cdot \frac{1}{n \cos \alpha}$$

wobei λ die mittlere Wellenlänge des interessierenden zu glättenden Transmissionsbereiches und α den Winkel bedeutet, den der Lichtstrahl in der Ausgleichsschicht mit der Senkrechten zu dieser einschliesst.

Ueberraschenderweise hat sich gezeigt, dass man mit nur einer einzigen derartigen Ausgleichsschicht eine wesentliche Verbesserung der Transmissionskurve eines alternierenden Schichtsystems erzielen kann. Dadurch wird das Herstellungsverfahren sehr vereinfacht. Diese einzige erforderliche Ausgleichsschicht kann zwischen dem alternierenden Schichtsystem und dem Träger bzw. einem Deckglas angebracht werden oder auf dem System als oberste an die Atmosphäre angrenzende Schicht.

BAD ORIGINAL

109826/0905

Die Möglichkeit, die Gleichschicht an einen Glasträger angrenzen zu lassen, stellt einen besonderen Vorteil der Erfindung bei der Herstellung von Interferenzlichtfiltern dar, welche zwecks Schutz gegen atmosphärische Einflüsse luftdicht zwischen Glasplatten eingeschlossen werden sollen.

Wie die Erfindung praktisch durchgeführt werden kann, wird im nachfolgenden an Hand zweier Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Die Fig. 1a zeigt den Aufbau des Filters für ein erstes Ausführungsbeispiel, die Fig. 1b die Abhängigkeit des Reflexionsvermögens desselben von der Wellenlänge. Auf einer Glasunterlage mit dem Brechungsindex 1,52 ist zunächst ein aus 10 Schichten abwechselnd aus TiO_2 ($n = 2,4$) und SiO_2 ($n = 1,47$) periodisch aufgebautes Interferenzlichtfiltersystem aufgebracht. Die optische Dicke jeder dieser 10 Schichten beträgt ein Viertel der Wellenlänge (700 nm) für welche in diesem Ausführungsbeispiel ein Maximum der Reflexion erwünscht ist, also 175 nm. Für ein solches System ergibt sich, wie die Kurve A₀ in Fig. 1b zeigt, eine sogenannte Kante, d.h. ein steiler Anstieg der Reflexion bzw. Abfall der Transmission zwischen 560 und 610 nm. Daran schließt sich ein nach kürzeren Wellenlängen sich ausdehnender Transmissionsbereich an, welcher jedoch eine unerwünscht starke Bandenstruktur d.h. mehrere Maxima und Minima der Transmission aufweist. Für das vorliegende Kantenfilter wurde beispielsweise angenommen, dass die mittlere Wellenlänge des interessierenden Bereiches bei etwa 505 nm liegt. Der Erfindung entsprechend wurde also auf das aus 10 Schichten bestehende System eine Ausgleichsschicht als elfte Schicht aufgebracht, deren optische Dicke $3/8$ von 505 nm, also etwa 190 nm beträgt. Der Wert des Brechungsindex der Ausgleichsschicht 11 ist durch Vorversuche unschwer zu ermitteln; er muss höher als der Wert des Brechungsindex der an diese angrenzende niedrigbrechenden Schicht des alternierenden Systems sein. Im vorliegenden Beispiel wurde eine Ausgleichsschicht aus Al_2O_3 gewählt, welche mit einem Brechungsindex von 1,61 im Vakuum aufgedampft werden kann, doch kann auch jede andere Substanz, welche sich als stabile lichtdurchlässige, möglichst absorptionsarme Schicht in der vorgeschriebenen Dicke aufbringen, vorzugsweise im Vakuum aufdampfen lässt,

BAD ORIGINAL

109826/0905

für die Ausgleichsschicht verwendet werden, wenn sie den entsprechenden Brechungsindex aufweist. Die Wirkung der Ausgleichsschicht zeigt die ausgezogene Kurve A der Fig. 1b; die starke Schwankung im Transmissionsbereich wird, wie man ersieht, wesentlich verringert.

Während das Beispiel der Fig. 1 für senkrechten Lichteinfall auf das Filter ausgelegt ist, zeigt die Fig. 2 ein Filter, welches für einen Lichteinfallswinkel von 45° bestimmt ist. Die Fig. 2a zeigt den Aufbau dieses zweiten Ausführungsbeispiels. Auf dem Glasträger ist zunächst wieder ein alternierendes System von 10 Schichten aus TiO_2 und SiO_2 aufgebracht. Die Dicke dieser Schichten ist nach der obigen Formel berechnet. Die resultierenden Schichtdicken sind in Fig. 2a eingetragen. Die Transmissionskurve B_0 dieses Systems ohne Ausgleichsschicht zeigt die Fig. 2b. Auch hier sind starke periodische Schwankungen im Transmissionsbereich vorhanden, die erfindungsgemäss durch eine einzige weitere Schicht vermindert werden können. Diese weitere Schicht besteht wiederum aus Al_2O_3 und ihre Dicke errechnet sich nach der obigen Formel zu ¹³⁴~~189~~,3 nm, wenn als mittlere Wellenlänge des Transmissionsbereiches wieder 505 nm angenommen wird.

Die vorteilhafte Wirkung der Ausgleichsschicht in diesem 2. Ausführungsbeispiel zeigt die ausgezogene Kurve B in Fig. 2b. Eine starke Verminderung der unerwünschten Schwankungen ist auch hier festzustellen. Analog wie für einen Lichteinfallswinkel auf das Filter von 45° sind die Schichtdicken auch für andere Einfallswinkel zu berechnen. Der Winkel des Lichtstrahls in jeder einzelnen Schicht ergibt sich auf Grund des bekannten Brechungsgesetzes.

BAD ORIGINAL

109826/0905

P A T E N T A N S P R U E C H E

- 1.) Vielschichtinterferenzlichtfilter mit einem breitbandigen spektralen Transmissionsbereich mit verminderter Bandenstruktur, welches für Strahlung von grösseren Wellenlängen reflektierend ausgebildet ist und auf einem Träger ein alternierendes System von abwechselnd hoch- und niederbrechenden Schichten aufweist, wobei die Schichten optische Dicken besitzen, welche der Beziehung $n_1 d_1 \cos \alpha_1 = \frac{\lambda_0}{4}$ genügen (wobei n_1 den Brechungsindex der Schichtsubstanz, d_1 die Dicke der Schicht, λ_0 die Wellenlänge des Maximums des an den interessierenden Transmissionsbereich auf der langwelligen Seite angrenzenden Reflexionsbereiches und α_1 den Winkel bedeutet, welchen der durch das Filter hindurchtretende Lichtstrahl mit der Senkrechten zur Schichtebene in der betreffenden Schicht einschliesst) und wobei zusätzlich eine an eine niederbrechend ausgebildete Aussenschicht des alternierenden Systems angrenzende lichtdurchlässige Ausgleichsschicht von solchem Brechwert n und solcher Dicke d vorgesehen ist, dass unerwünschte Nebenmaxima oder Reflexion vermindert werden, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Dicke der Ausgleichsschicht gleich ist $d = \frac{3\lambda}{8} \cdot \frac{1}{n \cos \alpha}$, wobei λ die mittlere Wellenlänge des interessierenden zu glättenden Transmissionsbereiches,

α den Winkel bedeutet, den der Lichtstrahl in der Ausgleichsschicht mit der Senkrechten zu dieser einschliesst und wobei der Brechwert n der Ausgleichsschicht höher als der Brechwert der an diese angrenzenden niederbrechenden Aussenschicht des alternierenden Systems ist.

2. Vielschichtinterferenzlichtfilter nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgleichsschicht zwischen einer Glasplatte und dem alternierenden Schichtsystem angeordnet ist.

PR 6973

109826/0905

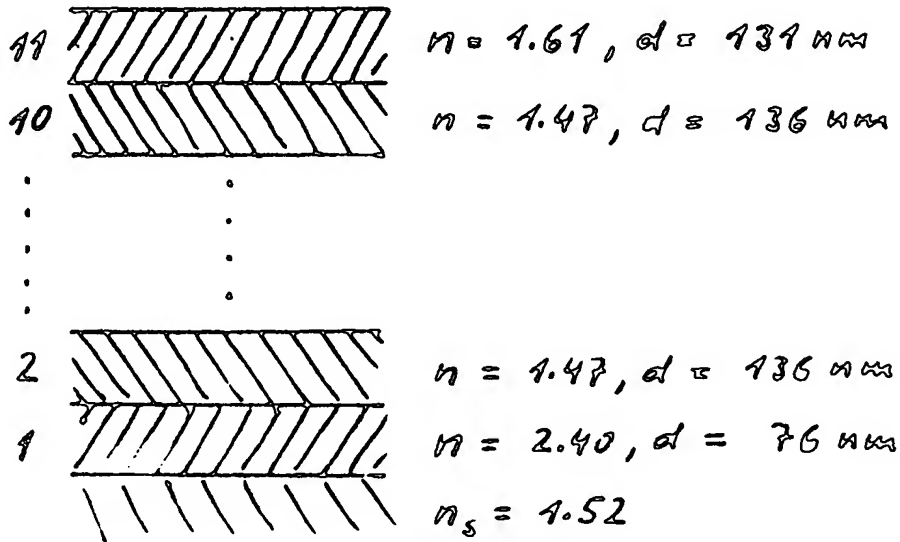


Fig. 2a

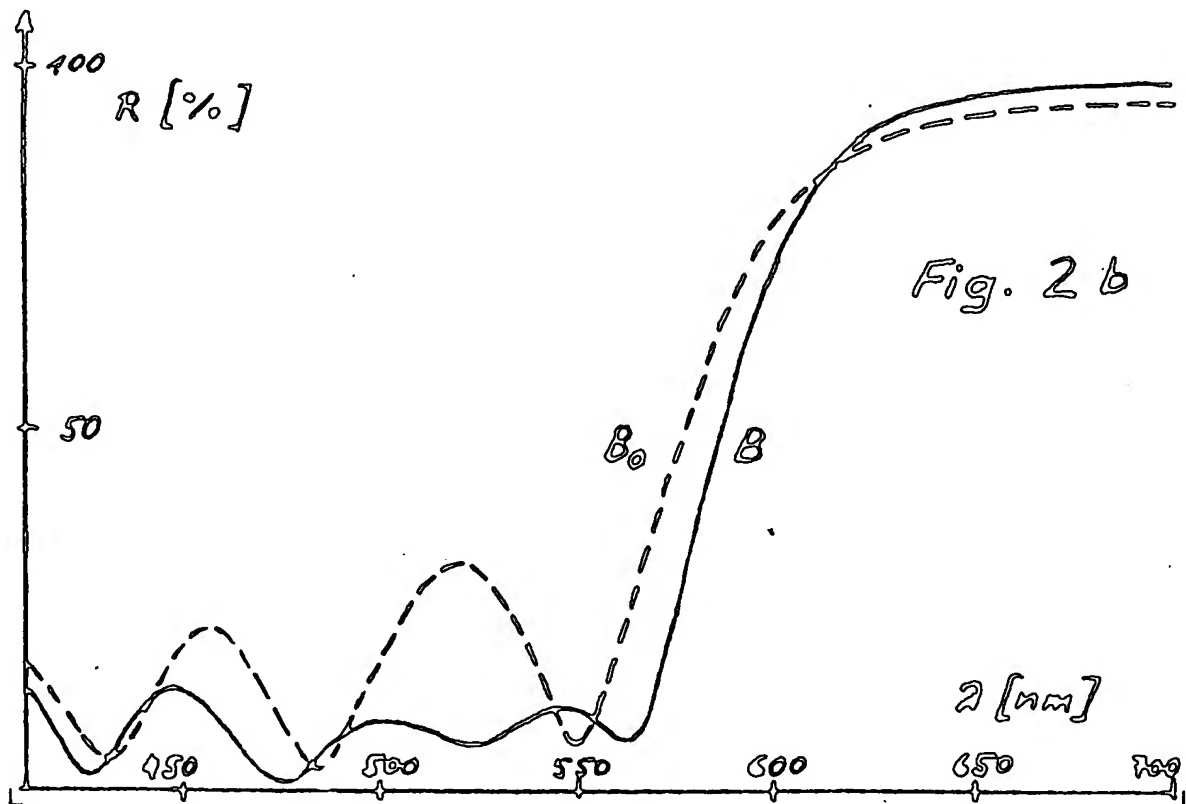


Fig. 2b

109826/0905

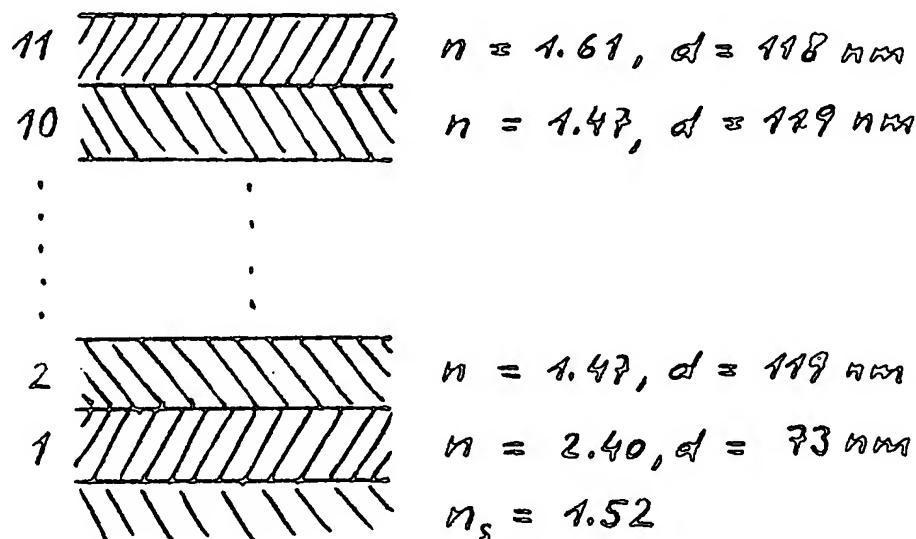


Fig. 1a

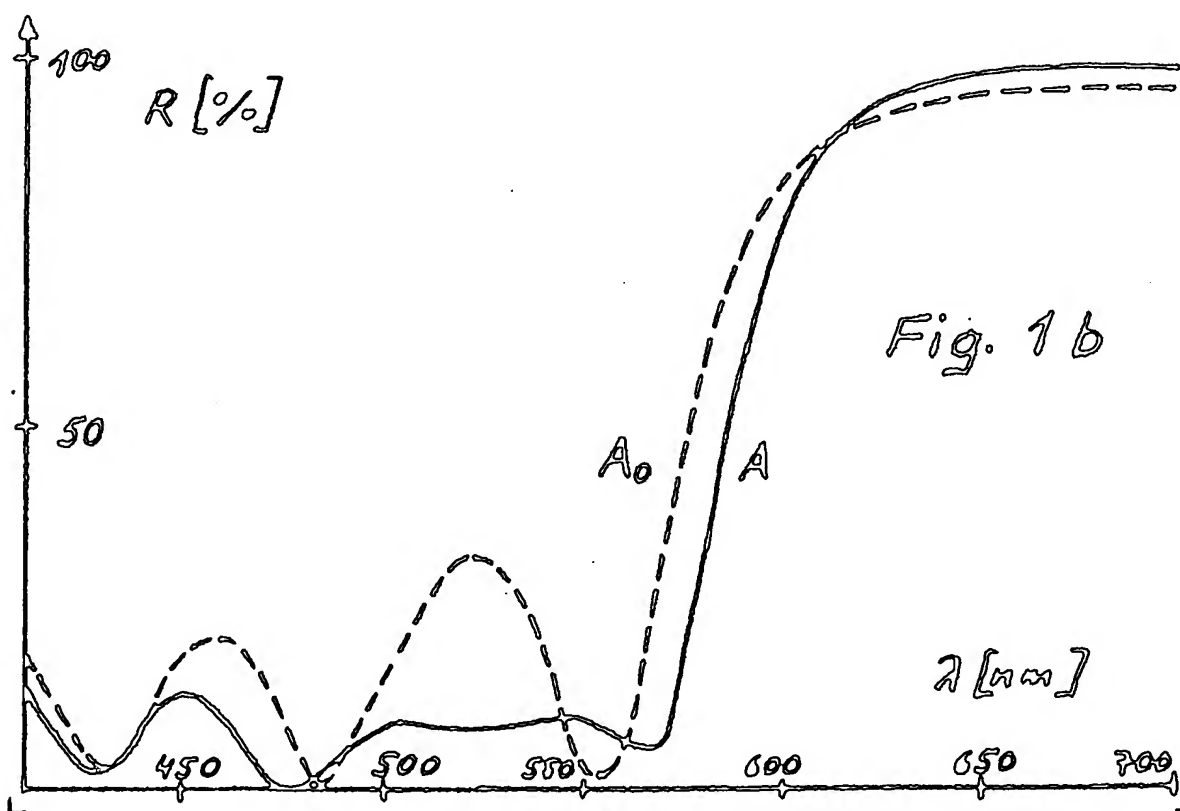


Fig. 1b

109826/0905

ORIGINAL INSPECTED